
§ 5	FUNKTIONSWEISE UND MÖGLICHKEITEN DER GENTECHNIK.....	112
I.	Biochemie, Biotechniken und Gentechnik: Begriffe	112
II.	Grundlagen gentechnischer Verfahren.....	113
	1. Genomanalyse.....	113
	2. GVO, Gentaxis und Klone.....	115
	3. Gentechnisch veränderte Mikroorganismen (Beispiele).....	116
III.	Gentechnik an Pflanzen und Tieren	117
	1. Gentechnische Verfahren an Pflanzen und Tieren	118
	2. Transgene Pflanzen und Tiere und ihre Nachkommen.....	119
	3. Transgene Pflanzen in der Landwirtschaft (Beispiele).....	120
	4. Transgene Tiere für Aqua- und Landwirtschaft (Beispiele).....	121
	5. Transgene Tiere für die Humanmedizin (Beispiele).....	121
IV.	Gentechnik am Menschen	122
	1. Kartierung des menschlichen Genoms.....	122
	2. Gentechnisch erzeugte Nahrungsmittel	123
	3. Gentherapie	124
	4. Exkurs: Medizinisch unterstützte Fortpflanzungsverfahren	125
V.	Grenzen gentechnischer Wirkungsmacht.....	127
	1. Zu den gentechnischen Machbarkeiten.....	127
	2. Zur Wünschbarkeit gentechnischer Anwendungen	127
	3. Zurück zur Natur?	129

§ 5 FUNKTIONSWEISE UND MÖGLICHKEITEN DER GENTECHNIK

"Die Gentechnologie ist aus der Wissenschaft und der Wirtschaft nicht mehr wegzudenken. Es ist heute schon abzusehen, dass sie in der Zukunft an Bedeutung gewinnen und zu einer der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts werden wird."

Bundesrat, Botschaft zur Gen-Schutz-Initiative

I. Biochemie, Biotechniken und Gentechnik: Begriffe

1. Die Gentechnik ist ein menschliches Werkzeug, das erst in Verbindung mit umfassenden Erkenntnissen vor allem aus der Biologie und mit anderen Techniken zielgerichtet wirksam werden kann. Enge Wechselwirkungen bestehen zwischen Gentechnik und Biochemie. Die *Biochemie* befasst sich mit der Aufklärung der chemischen Prozesse in und zwischen lebenden Zellen und mit den diesen zugrunde liegenden, biochemischen Strukturen. Der Mensch nutzt diese chemischen Prozesse schon seit geraumer Zeit, etwa zur Herstellung von Bier, Wein, Käse und Yoghurt.¹ Die Entdeckung, dass es Mikroorganismen sind, die diese Prozesse massgeblich steuern, ermöglicht seit dem 19. Jahrhundert deren gezielte Verwendung.

2. Aus der klassischen Bakteriologie wurde die *Biotechnologie* entwickelt. Diese umfasst die Gesamtheit aller technischen Verfahren, die sich die Eigenschaften lebender Organismen zunutze machen. Als nunmehr eigenständige Wissenschaft dient die Biotechnologie der Nutzung biochemischer Vorgänge in Mikroorganismen, Pflanzen- oder Tierzellen zur Herstellung von Produkten. Definiert wird sie kurz auch als die "kontrollierte Anwendung biologischer Information".² Zu den Biotechniken gehört auch die Gentechnik.

3. Die Gentechnik ist eine menschliche Handlungsweise zur Erfassung und Veränderung der Erbsubstanz, so der Gene, eines Lebewesens. Als *Gentechnik* werden alle Verfahren und Methoden bezeichnet, die dazu dienen,

"DNS-Moleküle aus lebenden Zellen zu isolieren, sie zu charakterisieren und (im Reagenzglas) spezifisch in Fragmente zu zerlegen, um sie anschliessend neu zusammensetzen und als rekombinierte DNS in Empfängerzellen zu überführen, in denen sie biologisch aktiv werden".³

Die Verwendung des Begriffs *Gentechnik* bezieht sich im folgenden auf die Umschreibung dieses Handwerkzeugs im Hinblick auf seine Anwendungs-

¹ Einzellige Hefepilze zum Beispiel wandeln den Zucker von Trauben durch Gärung zu Alkohol um; für die Herstellung von Yoghurt und Käse durch Gärung von Milchsäure zeichnen Milchsäure-Bakterien verantwortlich. - Zur Biochemie DUDEN BIOLOGIE; MEYERS, Bd. 2.

² GHISALBA / REUTIMANN / SIGRIST, S. 13; VOGEL, Gentechnik; THEISEN, S. 12; MEYERS, Bd. 2.

³ WINNACKER, S. 75. Dazu auch UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 19 f.; SKBS-Richtlinien Art. 9 Ziff. 8; VOGEL, Gentechnik; MEYERS Bd. 2; KOBAGO-BERICHT, S. 3 f.; ENQUÊTE-KOMMISSION, S. 7.

möglichkeiten und Folgen. Die *Gentechnologie*, das Wissen oder die Kunde der richtigen Anwendung und Durchführung der gentechnischen Verfahren und Methoden, ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Gentechnische Verfahren können je nach ihrem Entwicklungsstand und ihren konkreten Anwendungsmöglichkeiten unterschieden werden. Der primären Erforschung gentechnischer Verfahren selbst dient die entsprechende *Grundlagen-Forschung*. Ihr Stand hängt vom aktuellen Wissen etwa in Molekularbiologie und Genetik ab. Die Weiterentwicklung der Gentechnik kann zum Beispiel auch über genetische Untersuchungen für medizinische Anwendungen erfolgen. Handkehrum werden neue Verfahren etwa der Genomanalyse auch 'ohne Biologie' entwickelt.⁴ Die konkrete Entwicklung und Erprobung gentechnischer Verfahren erfolgt in der auf ein bestimmtes Ziel gerichteten oder dazu *angewandten* Forschung. Erfolgreich erprobt, wird die Gentechnik in der Wissenschaft und der industriellen Produktion routinemässig eingesetzt. Tafel 6 bietet einen ersten Überblick zu diesen Möglichkeiten.

II. Grundlagen gentechnischer Verfahren

1. Genomanalyse

Mit der Gentechnik soll Erbgut gezielt untersucht und allenfalls verändert werden. Zweck der Veränderung ist die Nutzung eines gentechnisch veränderten Organismus (GVO)⁵ oder seiner Genprodukte. Um einen GVO nutzen zu können, muss sein natürliches Erbgut zunächst analysiert und die Wirkung seiner einzelnen Gene oder genauer, der Produkte (Proteine) dieser Gene, im veränderten oder im Empfängerorganismus verstanden werden. Die DNS ist entsprechend zu rekombinieren. Und die rekombinierte DNS, kurz *rDNS*, muss im veränderten Organismus auf die gewünschte Weise aktiv werden.

a) *Zerlegung und Vervielfältigung der DNS*. Sollen Gene analysiert und rekombiniert werden, müssen sie zunächst isoliert werden. Dazu wird der DNS-Faden (Chromosom), auf dem ein bestimmtes Gen 'liegt', in Bruchstücke zerlegt. Ermöglicht wird die Fragmentierung durch Restriktions-Enzyme. *Restriktionsenzyme* sind Proteine, die aus Bakterien gewonnen werden, in welchen sie für gewöhnlich der Zerstörung der eingedrungenen Fremd-DNS vor allem von Viren dienen. Für die Gentechnik sind diese 1970 entdeckten Enzyme ein unerlässliches Hilfsmittel. Als 'chemische Scheren' zerschneiden sie die DNS an bestimmten Stellen, wodurch einzelne DNS-Moleküle unterschiedlicher Grösse entstehen. Isoliert werden diese DNS-Fragmente auf einer mit einem Gel bestrichenen Platte (Gelmatrix), an die ein elektrisches Feld angelegt wird. Die-

⁴ Zu den computergesteuerten Sequenzierchips im Rahmen von HUGO z. B. nachfolgend IV.1.b.

⁵ Näheres dazu nachfolgend 2.a.

ses trennt die DNS-Fragmente der Grösse nach auf, indem es sie unterschiedlich schnell durch die Matrix wandern lässt. Damit werden sie einzeln erkennbar.⁶

Die Analyse von Erbgut bedarf grosser Mengen entsprechender DNS. Mit Hilfe anderer Enzyme, den *DNS-Polymerasen*, lässt sich DNS innert kurzer Zeit stark vermehren. Im Verfahren der Polymerase-Kettenreaktion oder englisch "*polymerase-chain-reaction*", kurz *PCR* genannt, zerfällt die DNS-Doppelhelix durch Erhitzung in Einzelstränge. Die DNS-Polymerasen ergänzen diese Einzelstränge darauf mit den komplementären Basenpaar-Bausteinen zu zwei vollständigen, neuen DNS-Strängen. So entstehen innert weniger Stunden aus geringsten DNS-Mengen mehrere Millionen identische DNS-Sequenzen.⁷

b) *Genetische Identifikation von Personen*. Mit der Replikation ermöglicht das PCR-Verfahren den raschen und zuverlässigen Nachweis kleinster Mengen DNS. Zu deren Vermehrung genügt ein einziges DNS-Molekül beispielsweise aus einem Haar oder Blutstropfen. Damit ist das PCR-Verfahren auch für die Identifizierung von Personen von Nutzen. DNS besteht nur zu einem geringen Teil aus Genen, die innerhalb einer Art im grossen und ganzen identisch sind. Dazwischen befinden sich lange Ketten von Introns, die im Unterschied zu den Genen von Individuum zu Individuum höchst variabel sind (§ 4 V.4.c.). Diese DNS-Sequenzen, die vermutlich keine Informationen über Eigenschaften ihres Trägers enthalten, können ebenfalls auf der vorerwähnten Gelmatrix sichtbar gemacht werden. Die Positionen der verschiedenen DNS-Sequenzen eines 'Spenders' ergeben so ein unverwechselbares individuelles Strich-Muster. Dieses Muster kann in der Folge mit demjenigen der DNS einer beliebigen Person im Sinne eines genetischen Fingerabdrucks (DNS-Fingerprinting) verglichen werden. Dies ermöglicht eine vergleichsweise sichere Identifizierung etwa von Straftätern oder Vätern.⁸

c) *Diagnose von Erbkrankheiten*. Im Gegensatz zum genetischen Fingerabdruck wird bei der *Genomanalyse* für medizinische Zwecke das Erbgut eines Organismus auf seine Wirkungen hin untersucht. Im Zentrum steht die Suche nach Genen, die für Proteine codieren, deren Auftreten oder Ausbleiben Erbkrankheiten auszulösen oder mitzuprägen vermag. Präventionsmedizinisch wird die Genomanalyse damit zur *Gendiagnose*.⁹ Zur Feststellung einer Krankheitsveranlagung genügt die Analyse des Chromosomen-Abschnittes, auf dem sich das gesuchte Gen bekannterweise befindet. Sie kann am Erbgut eines erwachsenen Organismus (postnatal) oder aber bereits während einer Schwangerschaft (pränatal) am Embryo oder Fetus vorgenommen werden. Im übrigen kommt es weder bei der Genomanalyse oder Gendiagnostik noch beim gene-

⁶ RYSER / WEBER, *Gentechnik*, S. 14, 164 f., 169, m. V. a. den schweiz. Molekularbiologen Werner Arber als Mitentdecker der Restriktions-Enzyme. Zur Geschichte der Gentechnik auch Tafel 7.

⁷ VOGEL, *Gentechnik*, S. 156; KOHLI, S. 36; WINNACKER, S. 77; UNTERNÄHRER -ROSTA ET AL., S. 55.

⁸ Dazu etwa WINNACKER, S. 92 ff.; VOGEL, S. 41, m. w. V.; SHAPIRO, S. 296 ff.; Tafel 6.

⁹ WEIBEL, *Anwendungen*, S. 167.

tischen Fingerabdruck an sich zur Neukombination und Reintegration von rDNS in den Organismus. Ob diese Verfahren mit Blick auf die Definition überhaupt Anwendungsfälle der Gentechnik seien, ist daher fraglich, kann hier aber offengelassen werden.¹⁰

2. GVO, Gentaxis und Klone

a) Als *GVO* oder englisch "*genetically modified organism – GMO*" gilt ein Organismus, dessen genetisches Material in einer Weise verändert worden ist, wie es unter natürlichen Bedingungen nicht vorkommt.¹¹ Eine solche Veränderung liegt zum Beispiel dann vor, wenn die Erbfaktoren zweier verschiedener Tierarten miteinander kombiniert und in einem Tier zur Wirkung gebracht werden, soweit sich die Individuen der beiden Tierarten unter natürlichen Bedingungen nicht über die Artgrenze hinweg fortpflanzen können.¹² In dieser Arbeit werden unter *GVO* nur mittels Gentechnik im vorstehenden Sinne veränderte Organismen verstanden. Der erfolgreiche Einbau eines artfremden Gens in eine Empfängerzelle wird bei Pflanzen auch *Transformation* und bei Tier- und Menschenzellen *Transfektion* genannt.¹³ Er setzt voraus, dass die rDNS an der richtigen Stelle ins Genom der Empfängerzelle eingebaut wird, wo sie – nur – die erwünschte Wirkung zeitigt. Dazu bedarf es ausserdem geeigneter Signalsequenzen oder Promotoren (§ 4 v.4.b.) zur Aktivierung der 'neuen' Gene. Die Rekombination von DNS-Molekülen erfolgt im Reagenzglas, *in vitro*, mit Hilfe bindender Enzyme, den DNS-Ligasen.¹⁴ Für die Einführung der rDNS in die Empfängerzellen bestehen je nach Zelltyp oder Lebewesen verschiedene Möglichkeiten.

b) *Plasmide als Gentaxis*. Zur genetischen Veränderung von Mikroorganismen werden Plasmide verwendet. *Plasmide* sind ringförmige DNS-Moleküle von einigen tausend Basenpaaren Länge.¹⁵ Sie kommen in vielen Bakterien neben dessen eigentlichem Genom vor und können sich dort aufgrund ihrer speziellen DNS-Signalsequenzen autonom vermehren. Mit Hilfe von Restriktionsenzymen und Ligasen wird das gewünschte Gen zunächst in ein solches Plasmid eingebaut. Anschliessend wird die neue DNS-Sequenz auf diesem zum Vektor oder "*Gentaxi*"¹⁶ umfunktionierten Plasmid in die Empfänger-Zelle, etwa in ein Bakterium, eingebracht. Dort beginnt die autonome, von der DNS des Bakte-

¹⁰ Dazu WEIBEL, Anwendungen, S. 166 ff.; ROTH, Genzeit, S. 107 ff.; WINNACKER, S. 145 ff.

¹¹ Näheres zu diesem Begriff in § 12 II.1.b.aa. / III.1.b. sowie § 13 II.1.a.; ferner § 11 III.3.a.

¹² Diese Bedingung bestimmt die Zugehörigkeit eines Lebewesens zu einer Art (Tafel 11).

¹³ KOHLI, S. 17; für transgene Pflanzen auch SCHROTT.

¹⁴ KOHLI, S. 17, 25, 34 ff.

¹⁵ KOHLI, S. 35; DUDEN BIOLOGIE.

¹⁶ UNTERNÄHRER - ROSTA ET AL., S. 41.

riums unabhängige Replikation des Vektors (Plasmids) mitsamt dem neu eingebrachten Gen, was zur Expression des gewünschten Proteins führen kann.¹⁷

c) *Klonierung von Lebewesen*. Der Einbau fremder Gene in lebende Zellen wird auch als Gen-Klonierung bezeichnet. Die in der Zelle vervielfältigten Kopien des fremden Gens oder DNS-Abschnittes sind untereinander und mit ihrer 'Vorlage', dem eingebrachten Erbgut, identisch. Sie werden auch *Klone* genannt.¹⁸ Einzellige Organismen können mit Hilfe von Vektoren kloniert oder geklont werden. Lange Zeit bestand in der Wissenschaft die Auffassung, Klone liessen sich nur aus totipotenten Zellen vorab von Mikroorganismen und Pflanzen gewinnen. Im Sommer 1996 entnahmen Forscher in Schottland indes aus dem Euter eines schwangeren erwachsenen Schafes sein Erbgut und transferierten es in die Hülle eines entkernten Eis. In der Gebärmutter eines anderen Schafes entwickelte sich daraus ein neues Schaf, das Dolly getauft wurde. Dolly ist mit dem ersten Schaf genetisch identisch. Eine gentechnische Rekombination von Erbgut fand dabei nicht statt. Mit Dolly wurde die Möglichkeit gezeigt, aus der DNS eines einzigen erwachsenen Säugetieres, in Umgehung der sexuellen Fortpflanzung und damit der natürlicherweise stattfindenden Neukombination des väterlichen und des mütterlichen Erbguts, durch Klonierung ein neues Lebewesen entstehen zu lassen. Prinzipiell ist das Verfahren auch auf Menschen anwendbar.¹⁹

3. Gentechnisch veränderte Mikroorganismen (Beispiele)

Mikroorganismen teilen sich rasch, unter günstigen Bedingungen rund alle dreissig Minuten. Bei jeder Teilung wird die DNS verdoppelt und erbgleich auf die beiden Tochterzellen verteilt. Die autonome Replikation ihrer Vektoren und die hohe Teilungsrate von Bakterien kann zur Herstellung von Medikamenten wie Humaninsulin genützt werden (a.). Zur Steigerung tierischer Produktionsmengen werden gentechnisch veränderte Mikroorganismen auch in der Landwirtschaft verwendet (b.). Ausserdem wird an ihrer Verwendung für umweltschonende Betätigungen des Menschen geforscht; dabei besteht zumeist die Absicht des Freisetzens der gentechnisch veränderten Mikroorganismen (c.).

a) *Beispiel Humaninsulin*. Bakterien produzieren normalerweise kein menschliches Insulin. Mit dem entsprechenden Gen des Menschen versehen, tun sie es dennoch. Für die Zwecke der Gentechnik besonders nützlich hat sich hiezu das *Escherichia coli*-Bakterium erwiesen. Das im Darm (colon) von warmblütigen Tieren einschliesslich dem Menschen lebende Bakterium wurde erstmals 1885 vom Kinderarzt Escherich (1857 - 1911) beschrieben. Mittels Gentechnik kann ihm das Gen für menschliches Insulin eingebaut werden. Das Hormon Insulin

¹⁷ WINNACKER, S. 81 ff.; KOHLI, S. 35 ff., 44 ff.; ferner SCHROTT.

¹⁸ KOHLI, S. 39 f.; GEHRING, S. 56; WEBER, *Gentechnik*, S. 19.

¹⁹ NZZ vom 26.2.97, S. 20 und 1. / 2.3.97, S. 3; SoZ vom 2.3.97, S. 91 ff. Dazu auch § 15 I.2.

dient dem Abbau des Blutzuckers. Sein Fehlen führt zur Zuckerkrankheit (Diabetes). Als Medikament lässt sich tierisches Insulin aus den Bauchspeicheldrüsen von Rindern und Schweinen gewinnen. Der medizinische Gesamtbedarf an Insulin beträgt beispielsweise in Deutschland pro Jahr rund 250 Kilogramm. Diese Menge liefern die Bauchspeichel-Drüsen von 25 Millionen Schlachttieren oder gentechnisch veränderte Coli-Bakterien, letztere in einem industriellen Fermenter in einer Woche. Das bakteriell hergestellte Human-Insulin ist mit dem natürlicherweise im Menschen produzierten Insulin identisch.²⁰

b) *Beispiel rBST*. Die Produkte gentechnisch veränderter Mikroorganismen werden auch zur landwirtschaftlichen Ertragssteigerung herangezogen. Zum Beispiel produzieren Kühe, denen das Rinderwachstum-Hormon *Bovine Somatotropin* aus gentechnisch veränderten Bakterien (*rBST*) regelmässig gespritzt wird, bis zu zwanzig Prozent mehr Milch. Dazu frisst die Kuh auch mehr. Als quasi-medikamentöse Behandlung muss diese Prozedur indes regelmässig wiederholt werden, sollen die Leistungssteigerungen anhalten. So wird rBST nach der neunten Laktationswoche rund alle vierzehn Tage in ein Fettdepot der Milchkuh, zumeist beim Schwanzansatz, gespritzt, damit es langsam in die Blutbahn der Kuh freigesetzt wird.²¹

c) *Weitere Beispiele*. Aus dem Reich der Mikroorganismen dienen derzeit vor allem Bakterien und Hefen als Produktionsstätten für bestimmte Proteine. Sie werden regelmässig in Laboratorien und industriellen Betrieben gehalten. Daneben gehen einige Bestrebungen dahin, gentechnisch veränderte Mikroorganismen in der Umwelt zum Einsatz kommen zu lassen. Gedacht wird zum Beispiel an den Einsatz von bestimmten Bakterien zur Reinigung ölverseuchter Wasseroberflächen oder Böden. Mit Blick auf die ungefähr eine Million Nachkommen, in die sich ein Bakterium innert nur zehn Stunden zu teilen vermag, ist ein Wiedereinfangen gentechnisch veränderter Mikroorganismen nach deren Freisetzung kaum denkbar.²²

III. Gentechnik an Pflanzen und Tieren

Ungeachtet des universalen genetischen Codes (§ 4 V.2.) werden nicht alle in einem Mikroorganismus exprimierte Proteine auch biologisch aktiv. Viele für Menschen nützliche Proteine müssen im Anschluss an ihre Synthese dazu erst noch in der Zelle chemisch modifiziert werden. Bakterien fehlen häufig die erforderlichen Enzyme zur Aktivierung dieser Proteine. Für ihre nutzbringende Herstellung wird daher auch auf Hefe- oder aber auf Säugerzellen ausgewichen. Dabei gelangen verschiedene Verfahren (1.) zur Erzeugung transgener Tiere

²⁰ UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 24; WINNACKER, S. 84 f., 259. Dazu auch § 19 I.3.a.

²¹ Dazu SB vom 20.1.96; Basler Appell, rBST - Kein Doping im Kuhstall!, Rundbriefe Nr. 1 bis 5 1994; § 14 II.1.c. / III.1.c.

²² Dazu UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 94; KOHLI, S. 39 ff., 43; § 19 I.2.; Tafel 31.

und Pflanzen (2.) zum Einsatz. Wozu diese dienen sollen, zeigen einige Beispiele (3. bis 5.).

1. Gentechnische Verfahren an Pflanzen und Tieren

a) *Physikalische Hilfsmittel*. Die Isolation, Veränderung und Rekombination des Erbguts von Pflanzen und Tieren erfolgt grundsätzlich nach den vorbeschriebenen Methoden. Doch bestehen bei der gentechnischen Veränderung höherentwickelter Zellen einige technische Besonderheiten. Für sie existieren derzeit keine sich autonom replizierenden Plasmide, oder die Vektoren gehen bei der Zellteilung verloren. Die Fremd-DNS muss daher direkt und stabil ins Erbgut des zu verändernden Organismus eingebracht werden. Zur genetischen Veränderung von pflanzlichen und tierischen Zellen dienen etwa physikalische Hilfsmittel wie die Mikroinjektion, bei welcher die Fremd-DNS mit einer mikroskopisch feinen Nadel in den Kern der zu verändernden Zelle eingespritzt wird.²³ Nach einem anderen Verfahren, der Beschiessung der Kerne von Zellen mit auf Goldkügelchen aufgeklebter Fremd-DNS, wurde zum Beispiel Indica-Reis transformiert.²⁴

b) *Biologische Vektoren*. Zur genetischen Veränderung von Pflanzen und Tieren werden ausserdem aus dem Genom von Bakterien oder Viren entwickelte Vektoren als 'Gentaxis' verwendet. Viren schleusen ihr Genom ins Genom von Wirtszellen ein, wo es integriert und mit diesem vermehrt wird. Auf solch viralen Vektoren kann auch ein fremdes oder verändertes Gen an irgendeiner Stelle in eines der Chromosomen der Wirtszelle eingeschleust werden. Gelingt seine stabile Integration, wird das Gen fester Bestandteil des Genoms der Wirtszelle. Dazu einige Beispiele:

Masthühner leiden oft unter Parasiten. Sie werden von der Hühnerkokzidiose befallen und gehen in der Folge unter anderem an Appetitlosigkeit und Durchfall zugrunde. An Medikamente können sich die Parasiten zu schnell anpassen. Nun sollen die Hühner mit gentechnisch veränderten Viren geimpft werden. Dazu wird zunächst das Gen, das die Produktion von Antigenen (Proteinen) gegen die Parasiten steuert, in das Virus eingebaut. Darauf wird das Virus ins Erbgut der Kücken eingeschleust. Das gentechnisch veränderte Virus soll das Genom der Hühner derart verändern, dass diese gegen die Hühnerkokzidiose selbst resistent werden.²⁵ Rekombinierte Viren werden zur Impfung auch von Rindern gegen Rinderpest sowie von Füchsen gegen Tollwut (§ 13 III.1.b.) bereits eingesetzt.

Bei der Transformation von Pflanzen übertragen Boden- oder Agrobakterien Teile ihrer Plasmid-DNS auf die Pflanzenzellen. Diesen Vorgang machen sich

²³ Dazu BÜRKI, S. 570; KOEHLIN / AMMANN, morgen, S. 171, m. w. H.; ferner nachfolgend 2.

²⁴ Zum "particle-gun" POTRYKUS, Indica-Reis, S. 5; zur Methode der Elektroporation POTRYKUS, S. 82.

²⁵ HÜMBELIN, Gentechnologie, S. 76 f.; UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 110 f.

Gentechniker zunutze, indem sie die normal austauschbare DNS durch Gene ersetzen, die etwa die Stickstoffproduktion in Pflanzen steuern sollen. Werden die zum Beispiel durch das *Agrobacterium tumefaciens* übertragenen Gene stabil in die Empfängerpflanzen eingebaut, kann auf deren künstliche Düngung inskünftig mehr oder minder verzichtet werden.²⁶

c) *Viren- und Bakterien-Gene für Nutzpflanzen.* Viren und Bakterien werden nicht nur als 'Gentaxis' genutzt. Auch ihre eigenen Gene können Proteine mit gesuchten Eigenschaften hervorbringen. Die Gene können gentechnisch isoliert und auf verschiedene Nutz-Pflanzen übertragen werden. Dazu einige Beispiele: Tomaten konnten durch die Infektion mit DNS eines Bakteriums namens *Bacillus thuringiensis* (Bt) gegen den Horn- und Fruchtwurm, Mais gegen den Maiszünsler wirksam geschützt werden. Der Bt-Mais trägt zudem zwei Markergene; eines davon, im Mais abgeschaltet, verhilft seinem Träger normalerweise zur Resistenz gegen das Antibiotikum Ampicillin; das andere Gen macht den Mais zugleich gegen Herbizide resistent.²⁷ Kartoffeln wurden gegen den für sie schädlichen *Kartoffelvirus Y* resistent gemacht. Dazu wurde in der Schweiz Kartoffeln der Sorte Bintje das Gen, das für das Protein der Virus-Hülle codiert, ins Erbgut eingebaut. Die an sich unschädlichen Virushüllen sollen die Bintje zur rechtzeitigen Produktion der entsprechenden Abwehrstoffe gegen das Virus anregen.²⁸

2. Transgene Pflanzen und Tiere und ihre Nachkommen

Die Nachkommen transformierter Einzeller übernehmen die einmal eingeschleuste rDNS; sie sind also allesamt gentechnisch veränderte Organismen (GVO). Die Zellen höherentwickelter tierischer Organismen verlieren regelmäßig bereits in ihren frühen Entwicklungsstadien ihre Totipotenz. Die Fähigkeit zur Ausbildung eines vielzellig-differenzierten Organismus aus einer Zelle behalten die erwachsenen Zellen verschiedener zweikeimblättriger Pflanzenarten, so Tabak und Petunien, sowie die befruchteten tierischen und menschlichen Eizellen in ihrer embryonalen Frühphase. Gelingt die stabile Integration von rDNS in totipotente Zellen, so führt deren Teilung zur Weitergabe der genetischen Veränderung an die neu entstehenden Tochterzellen. Aus diesen entstehen *transgene Pflanzen* oder *transgene Tiere*.²⁹ Sie tragen die rDNS nicht nur in einzelnen ihrer spezialisierten (somatischen), sondern in allen Körperzellen einschliesslich ihren Geschlechtszellen (Keimbahn). Über diese geben sie ihre veränderte DNS auch an ihre Nachkommen weiter.

²⁶ UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 102. Dazu auch NZZ vom 19.3.97, S. 67, m. V. a. transgenen Tabak für die Herstellung von Hämoglobin. Zum Stand der Technik Ende 1997 SCHROTT; ferner FREYDL / FÜTTERER.

²⁷ Zum Bt-Mais von Novartis IMHOF; SCHULTE / KÄPPEL, Bd. 1, S. 274 f.; ferner EVD, Bericht, S. 32. Näheres dazu auch in § 12 III.2.a. und § 13 III.2.d.; Tafel 35.

²⁸ Dazu § 19 II.3.a.; UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 105, 109; POTRYKUS, S. 86; FREY / BRAUCHBAR, S. 21; NZZ vom 26.7.96, S. 25.

²⁹ MÜLLER, Gentechnik, S. 588; KOHLI, S. 48; NÜESCH, Perspektiven, S. 71; POTRYKUS, S. 79 ff.; SCHROTT.

Um transgene Lebewesen entstehen zu lassen, kann das artfremde Gen zum einen direkt, auf dem Weg der Mikroinjektion, in Zellen des Embryos geschleust werden. Die vektorielle Integration von rDNS in eine Empfängerzelle erfolgt jedoch an einer nicht genau kontrollierbaren Stelle eines ihrer Chromosomen. Die Funktionen vorbestehender Gene können dadurch beeinflusst und gestört werden.³⁰ Die Methode des Genaustauschs in embryonalen Stammzellen könnte dieser Gefahr entgegenwirken, da hierbei die gezielte Veränderung von Genen an Ort und Stelle und ohne Veränderung der übrigen Gene erfolgt. Routinemässig ist der erfolgreiche Genaustausch bisher jedoch nur bei einigen Mikroorganismen sowie bei Mäusen möglich. Nur aus Mäuseembryonen lassen sich derzeit (Ende 1997) solche Stammzellen gewinnen. Diese Zellen können nach ihrer genetischen Veränderung in ein frühes Embryonalstadium einer Maus eingeschleust werden, wo sie an der Entwicklung des Embryos teilnehmen. Das Tier wird so zur Chimäre (Tafel 15). Erst nach weiteren Kreuzungen entstehen *transgene* Mäuse, die ihre genetische Veränderung, die rDNS, über ihre Keimbahn an sämtliche Nachkommen weitervererben.³¹

3. Transgene Pflanzen in der Landwirtschaft (Beispiele)

Neben transgenen Tomaten und Mais werden etwa in der amerikanischen Agrarwirtschaft weitere gentechnisch veränderte Nutzpflanzen eingesetzt oder erprobt, so zum Beispiel Soja, Weizen, Baumwolle, Tabak, Melonen und Erdbeeren (Tafel 30). Allgemein dienen transgene Pflanzen in der Landwirtschaft vor allem der menschlichen Ernährung. In Zürich und auf den Philippinen stehen *insektizidhaltige Reispflanzen* im Versuch. Der gentechnisch veränderte Indica-Reis soll die Nahrungsgrundlage für über zwei Milliarden Menschen im asiatischen Raum sicherstellen helfen. Der durch die Schmetterlings-Larven des *yellow-stem-borer* verursachte Ernteverlust soll durch die transgenen Reispflanzen verringert werden. In die Pflanzen wurde ein Bt-Gen eingebracht, das ein für die Larven tödliches Protein exprimiert.³²

Seit 1994 stehen *kälteresistente Bäume* mit Gensequenzen aus Flundern zur Holznutzung und Aufforstung versuchsweise in schwedischen Wäldern. Deren intensive Abholzung zeitigt negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit der Waldböden und deren Wasserhaushalt. Der Nachwuchs natürlicher Jungbäume wird überdies durch die frostigen Umweltbedingungen erschwert. Ziel der Forscher ist es, gegen die arktische Kälte widerstandsfähigere Baumarten zu züchten. Die Versuchs-Bäume tragen dazu neben der Fisch-DNS auch Erbgut

³⁰ Dazu BÜRKI, S. 570, m. V. a. die zudem "oft unzuverlässige Expression der Transgene", nachdem das fremde Gen in einen der beiden Vorkerne des besamten Eies injiziert wurde; ebenso MÜLLER, Gentechnik, S. 599. Ausführlich dazu § 10 I.2.b. / 3.a. Zum Begriff "Embryo" auch Tafel 3.

³¹ KOHLI, S. 44 f., 48; BLÜTHMANN, Gentechnologie, S. 79; BÜRKI, S. 571 f. Zur mittlerweile erstmals gelungenen Gewinnung von Stammzellen aus menschlichen Embryonen in den USA aber auch NZZ vom 23.7.97, S. 17.

³² Dazu POTRYKUS, Indica-Reis; ACTIVITIES, 1995; § 19 II.2.

von Glühwürmern und Bakterien in sich.³³ In den USA hat die Firma Monsanto Sojapflanzen gentechnisch so verändert, dass sie gegen das firmeneigene Herbizid "Round-up" resistent sind. Deshalb kann dieses Mittel in der Wachstumsphase ohne Schäden für die Sojapflanzen eingesetzt werden.³⁴

Zur inskünftigen landwirtschaftlichen Nutzung müssen die transgenen Pflanzen je nach Entwicklungsstand und Anwendungszweck auf abgegrenzten Feldern oder auch in die weitere Umwelt freigesetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass zur Bezeichnung eines mehrzelligen Lebewesens als GVO die genetische Veränderung einiger seiner Zellen genügt. So muss auch eine Pflanze, die etwa nur in ihren Stengeln oder ihren Wurzeln rDNS trägt, bereits als Freisetzung eines GVO in die Umwelt betrachtet werden. Dasselbe gilt etwa auch für das 'geimpfte' Huhn.³⁵

4. Transgene Tiere für Aqua- und Landwirtschaft (Beispiele)

Für Produktionssteigerung dienen auch transgene Tiere. In den USA zum Beispiel werden transgene Riesenkarpen deshalb so gross, weil ihnen ein normalerweise in Forellen vorkommendes Wachstums-Gen ins Genom eingebaut worden ist. Mit Wachstums-Genen vom Menschen versehene Riesenforellen tummeln sich zur Steigerung der Nahrungsmittel-Produktion in französischen Teichen, derweil Riesenschweine an den Folgen solcher Gene schwer zu leiden haben. Riesenhühnern wurde ein Gen vom Rind zur Produktion von Wachstums-Hormonen eingebaut. Die wirtschaftlichen und ethischen Implikationen solchen Tuns werden, mit Quellenangaben, in § 10 ausführlich behandelt.

5. Transgene Tiere für die Humanmedizin (Beispiele)

Transgene Tiere werden auch zu Zwecken der Humanmedizin erforscht. Mit ihren natürlichen Stoffwechselprodukten sollen sie etwa Heilstoffe für den Menschen ausscheiden. Die transgenen Organe zum Beispiel von Schweinen sollen Menschen verpflanzt werden können. Andere transgene Tiere werden als "Krankheitsmodelle"³⁶ mit bestimmten Genen des Menschen versehen. Dazu einige Beispiele.

In Schottland tragen Schafe in ihrem Genom ein menschliches Gen, dank dem sie mit ihrer Milch das Protein Alpha-I-Antitrypsin (AAT) ausscheiden sollen. Bereits anderweitig gewonnen, wird AAT schon heute zur Behandlung einer lungenzerstörenden Krankheit, des chronischen Lungenemphysems, eingesetzt. Dem allenfalls aus der Schafsmilch zu gewinnenden AAT harren noch präklinische und klinische Probeanwendungen. Die Methode der Gewinnung von hu-

³³ NZZ vom 27. / 28.8.94, S. 20 und 2. / 3.12.95, S. 16, wonach die Produktion von Papierholz der Hauptgrund für die Anpflanzung von Holzplantagen mit schnell wachsenden Baumarten sei; POTRYKUS, S. 84 f.

³⁴ Dazu NZZ vom 5.2.97, S. 13; BZ vom 8.2.97, S. 1; BEOBACHTER Nr. 15 vom 19.7.96, S. 25 f.

³⁵ So auch HÜMBELIN, Gentechnologie, S. 77. - Zum Begriff der 'Freisetzung' von GVO auch § 11 III.3.a.

³⁶ So BÜRKI, S. 572. Dazu auch nachfolgend oben.

manmedizinischen Wirkstoffen aus transgenen Tieren wird auch "gene pharming" genannt.³⁷

In den USA und in Grossbritannien werden Embryonen von Schweinen mit Genen des Menschen versehen, deren Expressionsprodukte all diejenigen menschlichen Körperzellen vor dem eigenen Immunsystem als körperzugehörig ausweisen, die diese Proteine auf sich tragen. Zellen ohne diese Proteine werden vom Immunsystem als fremd erkannt und zerstört. Dies führt normalerweise auch zur Abstossung von Organen aus einem anderen menschlichen oder tierischen Körper. Wurden normale Pavian-Organen in den bisherigen Transplantations-Versuchen vom menschlichen Immunsystem jeweils als körperfremd abgestossen (Tafel 15), so sollen die transgenen Schweine-Organen nun 'menschliche Identität' vortäuschen. Gelingt die Täuschung des menschlichen Immunsystems, dann sollen ganze Organersatzteil-Farmen mit transgenen Schweinen bevölkert werden.³⁸ Ferner werden in den USA derzeit transgene Schweine mit menschlichem Hämoglobin zur Stillung des menschlichen Blutbedarfs gezüchtet.³⁹

Zur Erforschung monogenetischer Krankheiten des Menschen werden ebenfalls transgene Tiere gezüchtet und verwendet. Monogenetische Krankheiten sind Krankheiten, an deren Ausbruch und Verlauf nur ein einziges Gen beteiligt ist. Ein mutmasslich an Krebs mitbeteiligtes Gen aus dem menschlichen Erbgut, ein Onkogen, wurde in Mäuse-Embryonen verpflanzt. Gelingt sein stabiler Einbau, so entfaltet sich der Krebs mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht nur in der erwachsenen Maus, sondern auch in deren Nachfahren. Diese transgenen Mäuse werden auch "Krebs-Mäuse"⁴⁰ genannt. An ihren Reaktionen suchen Forscher den typischen Krankheitsverlauf im Menschen zu erhellen. Weitere transgene 'Maus-Modelle' bestehen zum Studium anderer menschlicher Krankheiten wie Diabetes, Alzheimer oder der Lungenkrankheit Cystische Fibrose. Ferner wird an mit Prionen versehenen Mäusen die Rinderkrankheit BSE erforscht.⁴¹

IV. Gentechnik am Menschen

1. Kartierung des menschlichen Genoms

a) *Rahmenbedingungen des Genomprojekts.* 1988 haben Molekularbiologen in den USA die "*Human genome organization (HUGO)*" gegründet. Ziel der Organisation ist die Erforschung und vollständige Entzifferung aller 'Buch-

³⁷ EVD, Bericht, S. 30; KOCH, Tracy, S. 24 ff.; UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 80; ferner § 10 II.2.a. Zu transgenen Tieren als "Bioreaktoren" ausführlich auch BERG, S. 583 f.

³⁸ Zur Xenotransplantation § 10 II.2.a. / c. / 3.a.; § 15 II.1.; § 17 I.3; § 18 II.3.; Tafel 15.

³⁹ WW vom 4.11.93; DIE ZEIT vom 11.8.95, S. 23; NZZ vom 5.6.96, S. 71.

⁴⁰ KOEHLIN / AMMANN, morgen, S. 101. Bei UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 80, wird die Maus als "Onkomaus" (wegen dem Onkogen: Tafel 5) sowie als "Tiermodell" und als "Mausmodell" bezeichnet.

⁴¹ UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 70 ff., 74; GEN-TECH AKTUELL, Informationsbulletin der SAG, Nr. 12 / 92 S. 3.

staben' (A / T / C / G) des menschlichen Genoms. Die HUGO zählt rund 900 Mitglieder aus 40 Ländern. Hunderte von Forschern sollen bis ungefähr im Jahre 2005 die Abfolge der rund drei Milliarden Bausteine des menschlichen Genoms im Computer erfassen und im "*Human genome project*" zu einer vollständigen menschlichen *Genkarte* zusammenstellen. Danach soll der Sinn der 'Buchstabenfolge' ermittelt werden, um so insbesondere auf sämtliche der schätzungsweise 5'000 für Erbkrankheiten mitverantwortlichen Gene zu stossen und ihr komplexes Zusammenspiel verstehen zu lernen. Die Kosten des ganzen Projekts wurden auf drei bis sechs Milliarden Dollar veranschlagt.⁴²

b) *Diagnostische und therapeutische Zielsetzungen.* Die Forscher hoffen, mit den gewonnenen Erkenntnissen über das menschliche Genom bessere medizinische Diagnosen stellen und neuartige Therapien anbieten zu können. Im Visier haben sie vor allem die monogenetischen Erbkrankheiten. Mit Gentherapien soll das entsprechend 'defekte' Gen ersetzt oder repariert werden. Kopien dieser wie im übrigen aller im Menschen aktiven Gene sollen in Genbanken zur weiteren Informationssuche angelegt werden. Als Nebenprodukt des Genomprojekts werden ausserdem neue Verfahren zur Analyse von Genomen erwartet.⁴³

c) *Gläserner Mensch?* Nicht aktiv oder in ihren Funktionen jedenfalls noch unbekannt sind die Introns (§ 4 V.4.b. / c.). Diese haben einen Anteil von rund 97 Prozent am menschlichen Erbgut, womit dessen grösster Teil bis auf weiteres nicht für Eigenschaften und Verhalten des Menschen verantwortlich gemacht werden kann. In quantitativer Hinsicht ermöglicht die Kartierung des menschlichen Genoms daher nicht, Menschen in ihrer individuellen Existenz quasi 'wie Glas' zu durchschauen oder gar zu kontrollieren. Der wissenschaftlichen Erkenntnis der Funktionsweise der codierenden Gene stehen überdies deren Spleissen (§ 4 V.4.b.), allenfalls auch Springen (§ 7 I.3.c.) sowie die Komplexität der Wechselwirkungen des genetischen mit dem epigenetischen System eines Organismus (§ 10 I.2.b.) gegenüber.⁴⁴

2. Gentechnisch erzeugte Nahrungsmittel

Menschen können durch die Einnahme von Medikamenten oder Nahrungsmitteln mit der Gentechnik in Berührung kommen. Ersteres ist bei der Gentherapie (3.) der Fall. Mit Blick auf gentechnisch hergestellte oder veränderte Nahrungsmittel werden in § 19 vor allem damit verbundene ökologische Risiken zu betrachten sein. An dieser Stelle begnüge ich mich mit dem Verweis auf zwei Beispiele solcher Nahrungsmittel:

⁴² WEBER, *Gentechnik*, S. 21 f.; UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 62 f.; WEIBEL, *Anwendungen*, S. 165. BAZ vom 25.3.96, S. 2.

⁴³ NZZ vom 20.12.95, S. 61, m. H. a. das neue Sequentierverfahren mit molekularen Sensoren (Sequenzierchips).

⁴⁴ In diesem Sinne zu HUGO auch BAZ vom 25.3.96, S. 2.

Mit gentechnisch länger haltbar gemachten "Flavr-Savr-Tomaten"⁴⁵ werden GVO gesamthaft verspiesen. Im gewöhnlichen Verdauungsprozess wird auch die rDNS der GVO zerlegt. Die fortdauernde Expression weiterer tomatenfremder Genprodukte im menschlichen Körper kann damit ausgeschlossen werden. Zur Käseherstellung bedarf es eines bestimmten Enzyms, Labs, das natürlicherweise im Magen von Kälbern vorkommt, die mit Milch gefüttert werden. Dies trifft auf immer weniger Kälber zu. Mit Hilfe gentechnisch veränderter Hefe kann Lab auch industriell gewonnen werden. Weder das aus der Hefe stammende Lab noch der damit produzierte Käse enthalten Bestandteile der transgenen Hefe. Beim Verzehr dieses Käses schluckt der Mensch folglich keine rDNS.⁴⁶

3. Gentherapie

a) *Gentherapie oder Genchirurgie?* Mit der Gentherapie sollen monogenetisch bedingte Krankheiten des Menschen dadurch geheilt werden, dass das an der jeweiligen Krankheit mitwirkende Gen in seinen Wirkungen verändert, ersetzt oder ausgeschaltet wird. Der Eingriff in die Gene bereits spezialisierter (somatischer) Körperzellen wird als *somatische Gentherapie* bezeichnet.⁴⁷ Zur Beeinflussung eines bestimmten Gens können gentechnisch hergestellte Medikamente zum Einsatz kommen. Daneben sollen Gene, deren Wirkungen, Defekte oder Fehlen für eine Krankheit als mitverantwortlich erachtet werden, direkt in Körperzellen eingebracht oder daraus entfernt sowie allenfalls repariert und reimplantiert werden:

Zum Beispiel gelang Forschern, durch die Reimplantation seines gentechnisch veränderten und künstlich vermehrten Knochenmarks die angeborene Immunschwäche eines Mädchen zu beheben.⁴⁸ Grundlegender wäre dagegen, eine vorgeburtlich erkannte monogenetische Krankheit durch eine Keimbahntherapie (c.) zu behandeln. Sowohl somatische wie Keimbahntherapie bedeuten indes eine direkte und, im vorstehenden Beispiel, bleibende Veränderung der behandelten Gene. Insofern sind solche Eingriffe im Grunde genommen eher als Genchirurgie denn als Gentherapie zu bezeichnen.⁴⁹ Als eine besondere Form der Gentherapie ist meines Erachtens auch die Xenotransplantation zu betrachten, bei der menschliche DNS zunächst ins tierische Erbgut eingebracht wird, worauf das transgene Tierorgan später auf einen Menschen übertragen werden soll.

⁴⁵ Zu diesem ersten transgenen Lebensmittel in den USA ausführlich REDENBAUGH / LINDEMANN, S. 23 ff.; ferner AMMANN, Nahrungsmittel, S. 53; KOEHLIN / AMMANN, morgen, S. 237 ff.; GEISSBÜHLER, Tomatoffel-News, S. 3.

⁴⁶ Dazu UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 85; FREY / BRAUCHBAR, S. 20. Zum Käselab ausführlich auch BULLETIN BAG Nr. 32 vom 23.8.93, S. 581 ff.; § 13 III.3.a.

⁴⁷ WEIBEL, Anwendungen, S. 170 ff., 174.

⁴⁸ UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 41. Dazu auch § 19 I.3.a.

⁴⁹ So auch DREWS, S. 155. Ausführlich UNTERNÄHRER-ROSTA ET AL., S. 39 ff., 44 ff; ferner WEIBEL, Anwendungen, S. 170, 174 f.

b) *Somatische Gentherapie*. Praktisch alle organischen Krankheiten des Menschen haben auf irgendeiner Stufe des Krankheitsverlaufs mit dem Stoffwechsel zu tun und dieser wiederum mit der Aktivität der Gene. Mit ihnen soll in der somatischen Gentherapie der Stoffwechsel und so der Verlauf der Krankheit beeinflusst werden. Dazu dienen verschiedene gentechnisch hergestellte Medikamente, welche selber keine rDNS enthalten. Das aus gentechnisch veränderter Bäckerhefe gewonnene Medikament Hirudin zum Beispiel unterstützt die Auflösung von Blutgerinnseln. Das aus transgenen Kaninchen gewonnene Interleukin zeitigt gewisse Wirkungen gegen Krebs. Auch das aus gentechnisch veränderten Bakterien gewonnene Hämoglobin leistet seine vorübergehenden Dienste, indem es die Fähigkeit der roten Blutkörperchen zum Sauerstoff-Transport steigert.⁵⁰ All diese Dienste sind vorübergehender Art. Die entsprechenden Medikamente können nur für die Dauer ihres Durchgangs durch den menschlichen Körper biologisch aktiv werden. In dieser Form meint Gentherapie nicht die bleibende Veränderung der menschlichen Gene, sondern lediglich die zeitlich begrenzte medikamentöse Beeinflussung von deren Aktivitäten.

c) *Keimbahntherapie*. Die gezielte Veränderung der Genome somatischer Körperzellen wirkt, wenn überhaupt, nur in diesen. Zur Verhinderung oder Bekämpfung einer Krankheit kann sich diese begrenzte Wirkung jedoch als ungenügend erweisen. Um die Stoffwechselvorgänge im gesamten menschlichen Organismus gentechnisch dauerhaft zu beeinflussen oder zu verändern, muss die rDNS stabil ins Genom aller Zellen des Organismus oder eines bestimmten Organs eingebaut werden. Der stabile Einbau erfolgt grundsätzlich nach denselben Methoden wie bei den Tieren. Die Veränderung des Genoms aller Körperzellen und damit des gesamten menschlichen Organismus erfordert den gentechnischen Eingriff in die totipotenten menschlichen Keimzellen. Dieser Eingriff wird *Keimbahn-Therapie* genannt.⁵¹ Der Gewinnung der weiblichen Keimzellen, der Eier, deren Befruchtung im Reagenzglas und ihrer Einpflanzung mit oder ohne veränderter DNS in die Gebärmutter dienen die Verfahren der medizinisch unterstützten Fortpflanzung.

4. Exkurs: Medizinisch unterstützte Fortpflanzungsverfahren

Die Gentechnik und die Methoden der 'künstlichen' oder medizinisch unterstützten Fortpflanzung sind voneinander unabhängige Verfahren zur Verfolgung von regelmässig auch verschiedenen Zielen. Die 'künstliche' Fortpflanzung wird vor allem in Medizin und Landwirtschaft praktiziert und zumeist von Fachleuten assistiert. Sie wird auch assistierte Fortpflanzung genannt. Die durch chirurgischen Eingriff gewonnenen Eier werden im Reagenzglas, *in vitro*, mit dem Samen des Ehemannes (homologe Insemination) oder eines dritten Samen-

⁵⁰ WEBER, *Gentechnik*, S. 29 ff., 45; DALLE CARBONARE, S. 19 ff. Weitere Beispiele in § 19 I.3.

⁵¹ Dazu WEIBEL, *Anwendungen*, S. 176 f.

spenders (heterologe Insemination) befruchtet, was auch als *In-vitro-Fertilisation* (IVF) bezeichnet wird.⁵² Die vereinigten Keimzellen wachsen im Reagenzglas zu Embryonen heran. Mittels Embryo-Transfer (ET) werden diese in der Folge in die Gebärmutter des hormonell auf eine Schwangerschaft vorbereiteten weiblichen Organismus eingepflanzt. Bei Menschen gelangt die IVF vor allem zur Überwindung der Infertilität (Unfruchtbarkeit) zum Beispiel infolge eines Eileiter-Verschlusses oder der Bewegungsunfähigkeit des Spermias zur Anwendung.⁵³ Den Methoden der IVF und des ET kommt heute im Umgang sowohl mit dem noch ungeborenen Leben (a.) als auch den so erzeugten Lebewesen (b.) und zudem in Verbindung mit Gentechnik (c.) zunehmende Bedeutung zu.

a) Die medizinisch unterstützte Fortpflanzung wirft etwa die ethisch brisante Frage auf, was mit *überzähligen* Embryonen geschehen soll. Als solche werden diejenigen der im Hinblick auf eine Schwangerschaft in vitro entwickelten Embryonen bezeichnet, die der Frau zur Verhinderung einer Mehrlingschwangerschaft schliesslich nicht eingepflanzt werden.⁵⁴ Welcher Umgang mit überzähligen Embryonen ethisch akzeptabel sei, ist umstritten. Dass solche erzeugt werden, hängt damit zusammen, dass eine einmalige Entnahme von Eizellen das Verfahren der IVF für die Frau vereinfacht und erträglicher macht. Der gegenwärtige Stand von Wissenschaft und Technik lässt zudem zwar die Kryonkonservierung, das tiefgefrorene Aufbewahren bereits vereinigter Keimzellen von Mann und Frau, nicht aber der unbefruchteten Eizellen zu.⁵⁵ Die Frage nach ihrer richtigen Verwendung und mehr noch ihrer allfälligen Vernichtung beschlägt dabei nicht allein die in vitro erzeugten menschlichen Embryonen:

b) In der Landwirtschaft werden Kühe mit dem Sperma ausgesuchter Stiere künstlich besamt, um so besonders leistungsfähigen Nachwuchs zu erhalten. So kommen einige wenige Stiere zum 'Ruhm der Vaterschaft' über viele tausend Kälber rund um den Erdball. Ihr für den Transport tiefgefrorenes Sperma wird den hormonell vorbehandelten Kühen manuell und unter Beihilfe einer langen Pipette, also ohne In-vitro-Fertilisation, eingeführt. IVF und ET bei Tieren erfolgen zur Erzeugung etwa von transgenen Mäusen, Ratten und Kaninchen zu Zwecken des Tierversuchs. Hierbei verbinden und ergänzen sich die Gentechnik und die Verfahren der medizinisch unterstützten Fortpflanzung aus hauptsächlich humanmedizinischen Motiven.⁵⁶

c) Die kombinierte Anwendung von Fortpflanzungsverfahren und Gentechnik ermöglicht die Aufzucht menschlicher und tierischer Nachkommen mit veränderten genetischen Erbanlagen und Eigenschaften. Sind neue Merkmale oder

⁵² ROTH, Genzeit, S. 66; BERICHT 1988, S. 5; VOGEL, Gentechnik.

⁵³ Ausführlich dazu VON SCHUBERT, S. 341 ff.; ferner BHEND, S. 13 f.

⁵⁴ Dazu BOTSCHAFT Gentechnologie, S. 105 f.; IDAGEN, S. 16; SCHWEIZER, Kommentar BV, Rz. 62; Tafel 20.

⁵⁵ Dazu BHEND, S. 13; FOCUS 2 / 1995, S. 98, m. V. a. die Fortschritte in der Kryonkonservierung von Eizellen.

⁵⁶ Dazu ausführlich in § 10 II. und § 15 I.

veränderte Stoffwechselfvorgänge stabil ins Genom der Nachkommen eingebaut worden, finden sie sich von nun an auch in deren Keimzellen und damit in allen weiteren Generationen. Darin liegt die besondere Bedeutung der Verfahren der medizinisch unterstützten Fortpflanzung für die Möglichkeiten der Gentechnik.

V. Grenzen gentechnischer Wirkungsmacht

1. Zu den gentechnischen Machbarkeiten

Die Grenzen der durch die Gentechnik vermittelten Wirkungsmöglichkeiten des Menschen verändern sich fortlaufend. Weitere Entdeckungen und Erfindungen werden mit der Zeit auch zur Fortentwicklung der Gentechnik führen. Derzeit stösst die gezielte Veränderung von Erbgut beispielsweise durch die Gesetzmässigkeiten der Bildung der Proteinstrukturen an Grenzen. Ihre Funktionalität erreichen Proteine, als lineare Ketten von Aminosäuren, erst durch die dreidimensionale Faltung zu häufig sehr komplexen Strukturen. Diese Strukturen lassen sich aus der Sequenz der Aminosäuren beim heutigen Stand des Wissens jedoch nicht voraussagen. Entsprechend unklar bleiben vorderhand auch die voraussichtlichen Wirkungen veränderter Gene.⁵⁷

Im Rahmen dieser Arbeit bedarf es keiner weiteren Auseinandersetzung mit diesen und allfälligen weiteren naturgegebenen Schranken für die Weiterentwicklung der Gentechnik. Im zweiten Teil dieser Arbeit gefragt wird nach der Wünschbarkeit der Folgen der aktuellen und voraussichtlich möglichen Anwendungen der Gentechnik. Schranken bestimmter Anwendungen der Gentechnik werden dabei vorab aus philosophisch-ethischen Gründen zu benennen sein. Freilich stützen sie sich in Sachen transgener Tiere für Landwirtschaft und Medizin auch auf biologische Gesetzmässigkeiten. Ethik und Biologie sind danach zu einem Kreis zu verbinden, der auch die bereits aktuellen Möglichkeiten der Gentechnik einschliesst. Neben aller Logik wird dieser Kreis auch Gefühle wie Ängste und Wünsche einbeziehen müssen.

2. Zur Wünschbarkeit gentechnischer Anwendungen

a) *Gentechnik im Kreuzfeuer der Kritik.* Zielt die Frage nach der Machbarkeit gentechnischer Anwendungen auf das menschliche Können, so betrifft die Wünschbarkeit das, was wir mit ihnen wollen oder eben nicht wollen. Hiezu besteht ein äusserst breites Meinungsspektrum, das im allgemeinen vom gentechnischen "Verstoss gegen den Schöpferwillen" bis zur Gentechnik als "der Schlüsseltechnik der Zukunft" reicht. Konkret reicht die Kritik an der Gentechnik von "nichts Neues (Klassische Tierzucht)" über "gesteigerte Gefährdung des irdischen Lebens (Verwischung der Artengrenzen; Freisetzungen)" bis hin zur "absolut unzulässigen Überschreitung natürlicher Grenzen (Keimbahneingriffe)".

⁵⁷ NZZ v. 16.10.96, S. 67; KOHLI, S. 41. Zur Bedeutung der Proteinstrukturen auch WINNACKER, S. 144, 179.

Zuweilen wird der Menschheit gar ein gentechnischer "Quantensprung" zugetraut.⁵⁸

b) *Gentechnik als Frage der Ethik.* Angesichts dieser Hoffnungen und vor allem Befürchtungen ist es nurmehr ein kleiner Schritt vom (nicht) Wollen zum (nicht) Sollen. Als soziales Wesen richtet der Mensch seine eigenen Erwartungen nicht zuletzt auch an seine Mitmenschen. Während die persönliche Moral mehr die innere Haltung oder Einstellung des einzelnen Individuums an sich betrifft, dient die Ethik regelmässig der wissenschaftlichen Bewertung der Auswirkungen individuellen Verhaltens auf eine ganze Gemeinschaft.⁵⁹ Was der Mensch in diesem Sinne soll, ist, was allgemein als ethisch richtig betrachtet wird. Kant hat das mit dem kategorischen Imperativ so formuliert: "Handle so, dass die Maxime deiner Handlung ein allgemeines Gesetz werden könnte."⁶⁰ Ethisch richtig zu handeln bedeutet danach vor allem, die Folgen des eigenen – auch gentechnischen – Tuns für die Allgemeinheit zu bedenken und ebenso zu deren wie zum eigenen Wohle zu handeln.

c) *Gentechnik als Frage der Rechtsetzung.* Die diversen 'Du sollst' und 'Du sollst nicht' der Ethik können in den Verhaltenspflichten, dem *Müssen*, und in Verboten, dem *Nicht-Dürfen*, ihre gesetzliche Verankerung finden. Grundsätzlich wird das Verhältnis von Ethik und Recht in Sachen Gentechnik erst noch zu klären sein.⁶¹ In der Schweiz ist der Gesetzgeber zum Erlass rechtlicher Regeln gegen den Missbrauch der Gentechnik verpflichtet worden (§ 16 II.3.). Dabei konzentriert sich die öffentliche Diskussion derzeit zur Hauptsache auf drei Aspekte der Gentechnik, nämlich:

1. den Schutz der Allgemeinheit vor biologischen Gefahren gentechnischer Experimente (Stichwort: Freisetzung-Versuche; dazu § 11 I.2. / § 13 II.1.);
2. den Schutz der freien Wahl des Individuums zwischen Verfahren (Stichworte: Genomanalyse; Gentherapie; dazu Tafeln 19 / 20) und Produkten (Stichworte: Lebensmittel, Medikamente; dazu § 13 III.3.) mit oder ohne Unterstützung durch Gentechnik;
3. die Frage der Patentierbarkeit von Genen, DNS-Sequenzen, Zellen oder Zellreihen, kurz von 'biologischem Material', oder gar von Lebewesen wie insbesondere von Tieren (dazu § 15 II.) und damit, als Vorfrage, nach der Zulässigkeit gentechnischer Veränderungen ihres Genoms überhaupt.

Der Umgang von Menschen mit Tieren und überhaupt mit der belebten Natur wird damit zu einem zentralen Aspekt der ethischen und der rechtlichen Erfassung der Gentechnik.

⁵⁸ Im einzelnen dazu, mit Quellenangaben, im zweiten Teil der Arbeit.

⁵⁹ Ausführlicher zum Begriff 'Ethik' § 9 I.1. (Bioethik) und 3.a.

⁶⁰ KANT, Werke 5, S. 470, ferner S. 478, 541 ff.

⁶¹ So mit Blick auf die Würde der Kreatur ausführlich in § 16.

3. Zurück zur Natur?

In dieser Arbeit wurde die Geschichte der Menschheit bislang als ein linearer, praktisch unumkehrbarer Prozess dargestellt. Waren der Natur bisherige technische 'Grosstaten' von Menschen nicht unbedingt beförderlich, so wird künftiger Umweltzerstörung durch das jähe Fallenlassen von Wissenschaften oder Techniken kaum Einhalt zu gebieten sein. Auf die 'richtige' Verwendung moderner Techniken sind wir umsomehr angewiesen, als es dabei gar um die allfällige Entsorgung zivilisatorischer Errungenschaften und ihrer Gefährdungspotentiale gehen sollte. Ein 'zurück zur Natur' im Sinne der Rückkehr in die Höhlen kann es danach nicht geben, wohl aber eine rein gedankliche Umkehr im Sinne der verantwortungsbewussten Zuwendung zur Natur.